

- 石川 哲浩(トヨタ自動車(株))
- 伊藤 雄三(工学院大学)
- 山田 邦弘・遠藤 晃洋(信越化学工業(株))
- 中吉 和己(東レ・ダウコーニング(株))
- 西田 裕文(ナガセケムテックス(株))
- 米倉 稔(新神戸電機(株))
- 青木 裕介(三重大学)
- 村山 英樹(三菱樹脂(株))
- 真田 和昭(富山県立大学)
- 藤山 光美(藤山ポリマーリサーチ)
- 渡利 広司(独産業技術総合研究所)
- 村上 睦明(株)カネカ
- 入澤 淳(株)弘輝
- 賛川 潤(岡野電線(株))
- 神谷 有弘(デンソー(株))
- 山際 正憲(日産自動車(株))
- 由宇 義珍(株)セツヨーアステック
- 高橋 良和・両角 朗(富士電機ホールディングス(株))
- 門田 健次(電気化学工業(株))
- 森本 雅之(東海大学)
- 山本 真義(島根大学)
- 神頭 卓司・山本 伸一郎・加藤 雅幸
- 結石 友宏・澤井 孝典(住友電気工業(株))
- 山本 恵一(株)本田技術研究所
- 山本 日登志(ネオジマグネットコンサルティング)
- 戸田 広朗(JFEスチール(株))
- 小澤 康典(エナックス(株))
- 堀江 英明(日産自動車(株))
- 足立 修一(慶應義塾大学)
- 廣田 幸嗣(日産自動車(株))

【執筆者一覧(敬称略)】

トヨタ・日産・ホンダなど自動車メーカーの知見も収録！

電気自動車・ハイブリッド車の「どのようにして熱を逃がすか」に取り組む技術は本書だけ！

# EV・HEV 車に向けた 材料・部品の放熱・冷却・耐熱技術

発刊：2010年6月 定価：70,400円(税込(消費税10%)) 体裁：B5判 338頁

「EV・HVに求められる放熱・耐熱材料とは？」「インバータ・モータ・電池他部品の放熱・冷却技術とは？」  
EV・HV向け高放熱・高耐熱化技術を、材料／中核部品の両面から一挙集成！

◎**材料編** EV・HV向け高放熱・高耐熱材料に向けた最新の材料技術とその可能性を理解

- 高分子の熱伝導理論  
…熱伝導率を決める因子、高熱伝導化のメカニズム、高分子の高次構造と熱伝導率
- シリコン材料  
…グリース・ゴムシート・フェイズチェンジマテリアル・両面粘着テープなど  
…放熱材料の設計とその評価、パワーデバイスに向けた対応
- エポキシ樹脂  
…熱伝導性向上技術・ヒートサイクル性向上技術  
…パワーデバイス用高熱伝導エポキシ樹脂基板、放熱板への貼付け／発熱素子の貼付け
- 有機・無機ハイブリッド材料  
…PDMS系ハイブリッド材料の無機セラミックスフィラーとの複合化
- CFRP  
…ピッチ系炭素繊維ベースのCFRPと特性(力学的・熱的)、自動車関連部材への適用
- フィラー  
…分散・高充填および放熱性向上のための材料設計・特性評価  
…混練・分散技術ならびに放熱性・耐熱性に及ぼす混練・分散の影響  
…熱伝導率の実験データ・低下の要因、高熱伝導率を示すフィラー/プラスチック材の微構造
- グラフィートシート  
…物性と放熱特性、EV・HEV分野への応用の可能性
- はんだ  
…高放熱金属基板対応はんだ合金の要求特性と開発
- ヒートパイプやヒートシンク、ペルチェモジュール  
…EVでの放熱冷却技術、駆動系から補機系まで

◎**部品編** 実際のEV・HV用部品での取り組みや車メーカー・部品メーカーの視点から読み解く

- ・最新動向…各社のハイブリッドシステムや冷却構造(モーター・インバータ)
- パワーデバイス  
…放熱経路の低熱抵抗化・拡張／拡大化の例、両面放熱方式における実装技術  
…高耐熱実装構造の信頼性評価技術(熱疲労信頼性評価／薄膜接合層の強度評価)
- パワーモジュール  
…等価熱回路、インテリジェントパワーモジュール、IGBTチップ保護  
…絶縁・放熱部品材料(絶縁基板・放熱板)、絶縁基板-放熱板間のはんだ接合部信頼性  
…SiCパワーモジュールの課題と対応策(放熱部材に要求される耐熱性・封止樹脂の熱伝導率)
- インバータ  
…放熱設計(熱抵抗/冷却媒体と周囲温度)、冷却法(EVの水冷、ハイブリッドの水冷/空冷)
- コンバータ  
…トランスリンク方式による小型軽量化、コア冷却手法の最新動向  
…リアクトルにおける熱設計と評価
- モーター  
…EV用およびHEV用(シリーズ・パラレル・他、方式別)冷却システムの具体例  
…温度上昇(絶縁階級/冷却媒体)、EV・HEV用モータの水冷/油冷/空冷  
…磁石選定、EV・HVモータ用焼結Nd磁石、使用温度と最適材質  
…電磁鋼板の基本特性および熱伝導特性
- リチウムイオン電池  
…高放熱性を持つ大型Li電池、電池パックの放熱性向上化技術  
…EV・HEV電池に求められる性質(熱の発生/冷却特性)、各環境車両での発熱特性  
…カルマンフィルタによる充電率SOC推定、熱等価回路モデルによる内部温度推定

★書籍申込書

FAX : 03-5740-8766

または → <https://johokiko.co.jp/publishing/BC100601.php>

- (書籍申し込み要領)
- ◎右記記入の上、FAXでお申込を承ります。  
FAX:03-5740-8766まで！
- ◎お申込書を確認次第、書籍、請求書および振込要領をお送りいたします。
- ◎未発刊の書籍をお申込の場合、申込書を確認次第、受領書をお送りいたします。  
発刊時に弊社より書籍、請求書および振込要領をご送付いたします(送料は弊社負担)
- ◎お支払いは請求日翌月末日までに、銀行振込にてお願いいたします。原則として領収証の発行はいたしません。
- ◎振り込み手数料はご負担ください。

書籍名HP	【BC100601】	冊数	住所〒
<b>EV放熱材料 書籍</b>			
会社名	TEL	FAX	
所属部課・役職等	申込者名		
E-MAIL	上司役職・氏名		
今後ご希望の案内方法にレ印を記入下さい(複数回答可) <input type="checkbox"/> e-mail <input type="checkbox"/> FAX <input type="checkbox"/> 郵送 <input type="checkbox"/> 不要			

※FAX番号はお間違いの無い様くれぐれもご注意ください。

ご連絡頂いた、個人情報は弊社商品の受付・運用・商品発送・アフターサービスのため利用致します。今後のご案内希望の方には、その目的でも使用致します。今後のサービス向上のため「個人情報の取扱いに関する契約」を締結した外部委託先へ、個人情報を委託する場合があります。個人情報に関するお問合せ先policy@johokiko.co.jp

# 構成及び内容

**はじめに EV・HV車における放熱・耐熱技術の最新動向**  
1. ハイブリッド車とは 1.1 概説 1.2 各社のハイブリッドシステム  
1.2.1 パラレル方式 I 1.2.2 パラレル方式 II  
1.2.3 シリーズ・パラレル方式 (スプリット方式)  
2. ハイブリッド車の燃費 2.1 燃費向上の原理 2.2 燃費向上の実際  
3.2 ハイブリッド車の排ガス 3. プラグインハイブリッド車  
3.1 プラグインハイブリッド車とは  
3.2 トヨタプラグインハイブリッドシステム概要  
4. ハイブリッド構成部品の課題 4.1 総説 4.2 高電圧電池  
4.3 走行用モータ、同インバータ 4.4 エンジン 4.5 電動エアコン  
5. 冷却構造の最新動向 5.1 モータ冷却 5.2 インバータ冷却  
6. 今後の動向

**第1章 EV・HV車に向けた、放熱・耐熱材料の設計と開発**  
**および放熱・耐熱技術**  
**第1節 高圧力における熱伝導の理論と高熱伝導化技術**  
**—EV/HV用途への最適化に向けて—**  
1. 熱伝導の基礎 1.1 熱伝導率の定義 (Fourierの法則) と熱拡散方程式  
1.1.1 熱伝導率の定義 (Fourierの法則) 1.1.2 熱拡散方程式  
1.2 熱伝導率と物質定数との関係 (Debyeの式)  
1.3 電子による熱伝導とフォノンによる熱伝導 1.3.1 電子による熱伝導  
1.3.2 ヴィーデマン-フランツの法則 (Wiedemann-Franz law)  
1.3.3 様々な物質の熱伝導率 1.4 熱伝導率を決める因子、  
定圧体積比熱、フォノンの速度、平均自由行程  
1.5 平均自由行程を決める因子、静的散乱と動的散乱  
1.5.1 フォノンの静的散乱 1.5.2 フォノンの動的散乱  
2. 高分子の熱伝導 2.1 高分子の熱伝導の特徴  
2.2 高分子の高次構造と熱伝導率 2.2.1 結晶性と熱伝導率  
2.2.2 分子配向と熱伝導率 3. 高熱伝導高分子  
3.1 高分子の高熱伝導化のメカニズム 3.1.1 絶縁性と高熱伝導の両立  
3.1.2 高分子の熱伝導率の理論限界  
—ポリエチレン結晶の熱伝導率の理論解析—

**第2節 HV・EV車向けシリコン放熱材料の設計・開発**  
1. シリコンの性質 2. シリコン放熱材料の組成  
3. シリコン放熱材料の種類・用途 4. 車載用各種放熱材料の特徴  
4.1 放熱グリース 4.2 放熱ゴムシート  
4.3 放熱フェイズチェンジマテリアル 4.4 放熱両面粘着テープ

**第3節 HEV・EV車に向けた自動車用シリコン放熱材料の設計と**  
**要求特性**  
1. 自動車分野に求められる放熱材料とは  
1.1 自動車における半導体コスト比率の増加  
1.2 車載用電子機器の信頼性要求 1.3 エンジンECUの実装技術の変遷  
1.4 安全性、信頼性、性能に要求が影響を及ぼす  
2. シリコンの優位性と硬化システム 3. シリコン放熱材料の設計とその評価  
3.1 放熱材料の設計はどのように行われるか  
3.2 定常法による熱特性の評価  
4. 次世代パワーデバイスに向けた対応は 4.1 SiCパワーデバイスの特長  
4.2 SiCがもたらすインパクトと望まれる周辺材料、技術  
5. 現在の課題と今後の動向

**第4節 エポキシ樹脂各種のEV・HV用途への利用検討と諸特性**  
**—耐熱性・放熱性を中心に—**  
1. 熱伝導性向上技術 2. ヒートサイクリング向上技術  
2.1 低応力化 2.2 高靱性化

**第5節 EV・HV車に向けたパワーデバイス用高熱伝導エポキシ樹脂基板**  
1. 高熱伝導材料の開発背景 2. 樹脂高熱伝導化の原理  
3. 絶縁基板材料への応用 4. 適用事例 4.1 プリント配線板への適用  
4.2 放熱板への貼付け 4.3 発熱素子の貼付け

**第6節 ポリジメチルシロキサン系ハイブリッド材料の耐熱特性と**  
**EV・HV用途への利用検討**  
1. PDMS系ハイブリッド材料  
2. ゼルゲル法とPDMS系ハイブリッド材料の合成方法  
3. PDMS系ハイブリッドの特徴  
4. 無機セラミックスフィラーとの複合化による  
絶縁・放熱材料の作製とその特徴

**第7節 ビッチ系CFRPの熱特性を含めた特長とEV・HV用途への応用**  
1. ビッチ系炭素繊維、およびその複合材、特徴と用途  
1.1 ビッチ系炭素繊維とは  
1.2 ビッチ系炭素繊維をベースとしたCFRPとその特性  
1.2.1 ビッチ系CFRPの化学的特性 1.2.2 ビッチ系CFRPの熱的特性  
2. 自動車関連部材への適用

**第8節 ナノフィラーの分散・充填技術と放熱材料設計**  
**—EV・HV車用機器に向けて—**  
1. ナノフィラーの分散・充填技術  
1.1 ナノフィラーの種類と製造方法  
1.2 ナノフィラーの分散手法  
1.3 カーボンナノチューブの分散手法および表面改質技術  
2. 放熱材料の設計と特性評価技術  
2.1 従来のフィラーを用いたポリマー系複合材料の熱伝導率の予測  
2.2 CNTを用いたポリマー系ナノ複合材料の熱伝導率の予測  
2.3 従来のフィラーとCNTの複合によるポリマー系複合材料の高熱伝導化

**第9節 HEV・HV車に向けた放熱・耐熱樹脂用フィラーの**  
**混練・分散技術**  
1. ポリマー/フィラー複合材料の混練・分散  
1.1 混練によるフィラーの分散  
1.2 ポリマー/フィラー複合材料の溶融粘度 (高濃度充填性)  
1.3 コンパウンディングにおける材料の供給 (喰い込み)  
1.3.1 高濃度 1.3.2 安息角 1.3.3 摩擦係数 1.3.4 その他  
2. 放熱性に及ぼす混練・分散の影響  
2.1 放熱性 (熱伝導率) 2.2 混合法の影響  
2.3 フィラーのパーコレーションネットワーク (熱伝導率の向上)  
2.4 フィラーの配向 3. 耐熱性に及ぼす混練・分散の影響  
3.1 耐熱性 (熱変形温度) 3.2 フィラー分散の影響

**第10節 高熱伝導率フィラーの評価とEV・HV向け放熱材料への応用**  
1. フィラー/プラスチック材の熱伝導率  
1.1 フィラー/プラスチック材の熱伝導率の実験データ  
1.2 フィラー/プラスチック材の熱伝導率の低下の要因  
2. 理想系におけるフィラー/プラスチック材の熱伝導率  
2.1 フィラー/プラスチック材の製造方法と最適なフィラー条件  
3. フィラー特性の評価 3.1 フィラーの熱伝導率  
3.2 製造プロセスと特性に影響を及ぼすフィラーの形状  
3.3 フィラー表面の官能基  
4. 高熱伝導率を示すフィラー/プラスチック材の微構造

**第11節 高熱伝導性グラファイトシートの特長と応用、**  
**およびEV、HEVへの適用の可能性**  
1. 熱伝導の基礎とグラファイトシート (GS) の作製  
1.1 各種熱伝導材料 1.2 グラファイトの熱伝導特性  
1.3 高熱伝導性GSの作製 2. KSGSの物性と放熱特性  
2.1 KSGSの物性 2.2 KSGSの熱拡散効果 2.3 KSGSの冷却効果  
3. KSGSの応用 3.1 携帯電話のヒートスポット (HS) 緩和効果  
3.2 LEDへの応用 3.3 EV、HEV分野への応用の可能性 (1)  
3.4 EV、HEV分野への応用の可能性 (2)

**第12節 EV・HV向け電子機器用高信頼性はんだの開発**  
1. 現在の車載機器鉛フリー実装  
1.1 SAC305使用車載機器鉛フリーはんだ実装  
2. 鉛フリー特殊はんだ合金 2.1 SAC305系の微量元素添加合金  
2.2 高In系合金の信頼性 3. 高放熱金属基板対応はんだ合金開発  
3.1 金属基板対応高耐久はんだの要求特性

**第13節 ヒートパイプやヒートシンク、ペルチェモジュールの**  
**特性とEV関連用途における熱設計の考え方**  
1. EVでのサーマルマネジメントとその手法  
2. サーマルマネジメントでの道具としての  
ヒートパイプ、ヒートシンク、ペルチェモジュール  
2.1 ヒートパイプの原理と特徴 2.1.1 最大熱輸送量 2.1.2 作動液要因  
2.1.3 その他の動力を用いない冷却方法 2.2 ヒートシンク  
2.2.1 ヒートシンクの基本的な例 2.2.2 ヒートシンクの種類と特徴  
2.3 ペルチェモジュール 2.3.1 原理と特徴 4. EVでの放熱冷却技術  
4.1 駆動系での放熱冷却技術 4.1.1 パワーデバイスの冷却  
4.1.2 電池の冷却 4.2 補機系での放熱冷却技術  
4.2.1 エアコン 4.2.2 LEDランプの冷却

**第2章 EV・HV車向けパワーデバイスの実装**  
**およびパワーモジュールにおける高放熱・高耐熱技術**  
**第1節 HEV車に使われるインバータ用パワーデバイスの放熱構造**  
1. カーエレクトロニクスの発展とHEV車  
2. HEV車のインバータへの要求と放熱技術  
3. インバータに使われる実装技術 3.1 放熱経路の低熱抵抗化の例  
3.2 放熱経路の拡張、拡大化の例 4. 両面放熱方式における実装技術  
1. 構造と実装技術における課題 4.2 具体的な解決策 (事例)  
4.2.1 パワーカード用鉛フリーはんだ材の開発 4.2.2 デバイスの例  
4.2.3 はんだ付け部の構造制御、ボイドレス組み付け技術

**第2節 SiCパワーデバイスの高耐熱実装技術とその信頼性**  
1. SiCパワーデバイスの高耐熱実装技術  
1.1 車載パワーモジュールの設計課題  
1.2 SiC高耐熱実装の目的と課題 1.3 はんだ代替技術の信頼性問題  
2. 高耐熱実装構造の信頼性評価技術  
2.1 高信頼性・高耐熱実装コンセプト  
2.2 局所的な疲労に基づく熱疲労信頼性評価とその検証  
2.3 高耐熱薄膜接合層の強度評価

**第3節 EV、HEV用パワーモジュールにおける放熱性向上の**  
**技術動向及びインテリジェント化**  
1. パワーモジュールの基本構造  
2. パワーモジュールの電力損失と温度上昇  
2.1 パワーモジュールの電力損失 2.2 温度上昇  
3. パワーモジュールの等価熱回路  
4. パワーモジュールの構成材料と熱伝導性  
5. 放熱性能向上を考慮した技術動向  
6. インテリジェントパワーモジュールの機能構成  
7. IGBTチップ保護のためのオンチップセンサー  
8. インテリジェント化の将来展望

**第4節 EV/HEV用パワー半導体モジュールにおける放熱技術**  
1. モーター駆動システムにおけるパワーモジュールの役割  
2. パワーモジュールに対する要求性能  
2.1 高効率駆動制御 2.2 放熱特性 2.3 耐環境・耐久性  
3. パワーモジュールの構造と構成材料  
4. パワーモジュールの信頼性と故障モード 4.1 ワイヤ剥離  
4.2 はんだ亀裂 4.3 セラミックス破壊および回路導体剥離  
5. パワーモジュール用放熱材料  
5.1 放熱材料の動向 5.1.1 絶縁基板 5.1.2 放熱板  
5.2 高信頼化に対する取り組み 5.2.1 放熱材料と信頼性との関係  
5.2.2 絶縁基板-放熱板間のはんだ接合部信頼性 5.3 放熱材料の展望

**第5節 HEV・EV用SiCパワーモジュールにおける**  
**放熱部材の課題と対応策**  
1. パワーモジュールに用いられる放熱部材  
1.1 パワーデバイスの構造と放熱部材 1.2 放熱部材の特徴比較  
1.3 Tjを決める要因 2. SiCにおける課題と対応策 2.1 SiCの適正Tj  
2.2 放熱部材に要求される耐熱性 2.3 封止樹脂の熱伝導率

**第3章 EV・HV車向けインバータ/コンバータにおける**  
**高放熱・高耐熱技術**  
**第1節 EV・HEV用インバータの冷却・放熱技術**  
1. パワー半導体デバイスの発熱と放熱  
1.1 半導体デバイスの損失 1.2 半導体デバイスの内部の熱伝導  
2. インバータの放熱設計 2.1 熱抵抗 2.2 冷却媒体と周囲温度  
3. EV/HEV用インバータの冷却法 3.1 自動車用インバータの冷却  
3.2 EVの水冷 (ホンダEV PLUS)  
3.3 ハイブリッドの水冷 (プリウスの冷却 (THS-II))  
3.4 ハイブリッドの空冷 (ホンダシビック)  
3.5 冷却水への伝熱の向上 3.6 チップの冷却向上

**第2節 EV・HV用コンバータの小型軽量化と放熱技術**  
1. EV・HVにおける電気系パワーライン  
2. EV・HV用昇圧コンバータの主要部品  
3. トランスリンク方式による小型軽量化手法  
3.1 従来の小型化手法 3.2 トランスリンク方式  
3.3 損失設計法 3.4 実機動作結果  
4. EV・HV用コンバータのコア冷却手法の最新動向

**第3節 EV/HV向けコンバータ用リアクトル開発における**  
**電磁気/熱設計技術**  
1. リアクトルの構成 2. 設計 2.1 電磁気基本設計  
2.2 電磁気詳細設計 2.3 熱設計 3. 評価

**第4節 EV・HV車向けモーターにおける高放熱・高耐熱技術**  
**第1節 EV・HEV向け主力モーターの開発動向と放熱・耐熱特性**  
1. EV・HEVシステム用モーターの特徴と開発動向  
1.1 EV・FCV用モータ 1.1.1 モーターの特徴 1.2 HEV用モータ  
1.2.1 パラレルハイブリッド 1.2.2 シリーズハイブリッド  
1.2.3 シリーズ・パラレルハイブリッド  
2. EV・HEV用モーターの冷却システム  
2.1 EV用モーターの冷却システム  
2.1.1 強制空冷システム (AC Propulsion AC 150)  
2.1.2 水冷システム (ホンダ FCX Clarity)  
2.2 HEV用モーターの冷却システム  
2.2.1 パラレルハイブリッド用モーターの冷却システム  
2.2.2 シリーズハイブリッド用モーターの冷却システム  
2.2.3 シリーズ・パラレルハイブリッド用モーターの冷却システム

**第2節 EV・HEV用モーターの冷却・放熱技術**  
1. モーターの発熱 1.1 モーターの損失 1.1.1 銅損 1.1.2 鉄損  
1.1.3 風損・摩擦損 1.2 モーター内部の伝熱  
2. モーターの温度上昇 2.1 絶縁階級 2.2 冷却媒体  
3. EV・HEV用モーターの冷却 3.1 水冷 3.2 油冷 3.3 空冷

**第3節 EV、HV用モーターにおける**  
**耐熱性を考慮した永久磁石の選定**  
1. ネオジム磁石 2. 焼結ネオジム磁石の耐熱性  
2.1 EV、HVモーター用焼結ネオジム磁石 2.2 Nd磁石のうず電流損失  
2.3 Nd磁石使用温度と最適材質の選定  
2.4 熱減磁の時間依存性 3. Dy拡散型磁石

**第4節 HV・EVモーター用電磁鋼板の開発動向**  
**～各種鋼板、要求特性、および熱伝導特性～**  
1. HV・EV用モーターに求められる特性 2. 電磁鋼板の基本特性  
3. 高トルクモーター用電磁鋼板 4. 高周波モーター用電磁鋼板  
5. 高けい素鋼板 (6.5%Si鋼) 6. 電磁鋼板の熱伝導特性

**第5章 EV・HV車向け蓄電池における高放熱・高耐熱技術**  
**第1節 EV/HEV用大型リチウムイオン電池の**  
**高放熱化・高耐熱化技術と今後の動向**  
1. 大型リチウムイオン電池の種類と特徴  
2. EV/HEV用大型蓄電池に求められる諸特性  
3. 大型リチウムイオン電池における  
高放熱化・高耐熱化技術の必要性  
4. 高放熱性を持つ大型リチウムイオン電池  
5. 大型リチウムイオン電池パックの放熱性向上化技術  
6. EV/HEV用大型蓄電池における今後の開発動向

**第2節 EV・HV用途に向けたリチウムイオン電池の**  
**放熱・耐熱技術**  
1. 環境車のエネルギー効率向上とユニット高出力化  
2. 電環境車用EV・HEV電池に求められる性質  
2.1 出力特性と電池の内部抵抗 2.2 熱の発生 2.3 冷却特性  
2.4 セル・モジュール構造 3. 各環境車両での発熱特性

**第3節 EV・HV車に向けたカルマンフィルタによる**  
**Liイオン電池の状態推定と温度予測**  
1. カルマンフィルタとは  
2. Liイオン電池の燃料タンクモデルと電気等価回路モデル  
3. カルマンフィルタによる充電率SOC推定  
4. Liイオン電池の発熱量の計算  
5. 熱等価回路モデルによる円筒型電池の内部温度の推定